

电网技术

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

12
2022

第46卷12期
Vol.46 No.12

企业数字能源系统仿真套件

企业数字能源系统仿真套件是一套应用于大型工业企业和园区能源系统管理和分析的软件系统，该系统通过对外提供一系列接口，可实现与第三方的智慧能源系统对接，有效提升企业能源系统运行的安全性和经济性。该套件基于中国电力科学研究院多年以来在电力系统仿真方面的技术积淀，可实现对企业能源系统进行多时间尺度的仿真，从电磁暂态仿真到24小时能源生产模拟。该套件综合应用能源系统仿真及其他相关数字技术，构建统一的企业能源虚拟系统，融入先进的数字仿真技术和智能分析技术，结合电力在企业能源系统的特殊作用，实现电-热-气融合、一次与二次融合、实时与历史融合、在线监测与离线分析融合，可有效支撑企业数字能源系统体系的构建，提升企业能源系统安全高效运行水平。



(1) 能源设备参数管理	(7) 微电网电磁暂态仿真	(13) 大电机启动模拟分析
(2) 继电保护定值管理	(8) 长过程动态仿真	(14) 自动控制策略校核
(3) 潮流计算及安全校核	(9) 继电保护整定与校核	(15) 变压器抽头调节模拟
(4) 短路电流计算及开关校核	(10) 用能优化及生产模拟	(16) 电容器投退模拟
(5) 谐波潮流计算分析	(11) 线损及能耗分析	(17) 紧急负荷模拟
(6) 机电暂态故障模拟	(12) 综合能源优化运行	(18) 电负荷调节响应优化



国家电网
STATE GRID

中国电力科学研究院有限公司
CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE

联系人: 杜三恩

邮箱: dusanen@epri.sgcc.com.cn

联系电话: 18613838168

广告

ISSN 1000-3673



国家电网有限公司 主办

编辑委员会

主 任: 周孝信

委 员 (按姓氏笔画排序):

丁 明 卫志农 王成山 王伟胜
王益民 王海风 韦 化 文劲宇
文福拴 艾 芊 毕天姝 吕运强
刘 健 刘广一 刘开培 刘玉田
刘明波 刘建明 汤 涌 孙华东
孙宏斌 严 正 李卫东 李亚楼
李成榕 杨胜春 肖先勇 别朝红
何正友 张东霞 张乔根 周 浩
周泽昕 段献忠 姚良忠 袁小明
徐 政 郭剑波 梅生伟 曹一家
曹均正 盛万兴 康重庆 董新洲
程浩忠 谢小荣 路书军 廖瑞金
穆 钢 鞠 平

青年委员 (按姓氏笔画排序):

丁 一 王蓓蓓 冯双磊 吕 泉
刘友波 刘敦楠 齐 波 汤 奕
孙国强 李 勇 李 斌 李卫星
李生虎 李建林 吴学智 张 宁
张 波 张志劲 陆 超 易 俊
胡 伟 胡泽春 郭庆来 涂春鸣
崔 杨 焦在滨 裴 玮 魏晓光

顾问委员会

主 任: 郑健超

委 员 (按姓氏笔画排序):

马伟明 王锡凡 卢 强 朱英浩
刘吉臻 汤广福 杨奇逊 严陆光
吴复立 邱爱慈 余贻鑫 汪 强
沈国荣 宋永华 陆佑楣 陈清泉
陈维江 罗 安 郑宝森 顾国彪
唐任远 黄其励 韩祯祥 程时杰
舒印彪 薛禹胜

目 次

· 新型电力系统故障特征及继电保护技术 (特约专题主编 周泽昕、毕天姝、吕鹏飞) ·

- 高比例分布式电源接入电网短路电流的拟牛顿迭代计算方法
..... 吴成国, 肖仕武 (4581)
- 针对含有移相变压器线路的距离保护策略
..... 陈镇生, 李晓华, 罗一杰, 郑艺欣, 屠卿瑞, 刘玮 (4591)
- 利用差动电流及支路序电流特征的母线 CT 断线识别及保护闭锁策略研究
..... 于溯, 周泽昕, 柳煥章, 王兴国, 吕鹏飞, 李勇 (4598)
- 适用于光伏场站汇集线路的高频突变量纵联保护
..... 晁晨翔, 郑晓冬, 桂强, 叶海, 刘中平, 刘虎林, 高飘, 邵能灵 (4607)
- 基于故障暂态行波高低频能量比值的交流输电线路快速保护方案
..... 郑涛, 宋祥艳 (4616)
- 基于 m -Ucos φ 平面识别振荡期间输电线路不对称故障的方法
..... 王兴国, 姜宏丽, 程琪, 杨万开 (4625)
- 基于限流控制与保护协同的柔性直流配电线路整体保护方案
..... 杨乐, 秦文萍, 陈晓乾, 左鹏飞, 蔡逸天 (4634)
- 基于高频测量阻抗幅相特性的接地极双回跨线故障测距方法
..... 李斌, 张鑫华, 何佳伟, 孙强, 李晔, 周博昊, 谢仲润 (4645)
- 计及锁相环动态响应特性的光伏并网系统故障电流解析计算
..... 郑涛, 邹芃莹, 王子鸣 (4656)
- 适用于高比例风电接入的自适应低电压故障穿越控制策略
..... 郑涛, 邹芃莹, 颜景娴, 王子鸣 (4666)
- 基于电压行波折射系数的柔性直流电网线路纵联保护
..... 戴志辉, 秦昊宇, 邱宏逸, 王兴国, 郭雅蓉, 邱晓璇 (4676)
- 适用于多端直流电网的电压极性比较式行波保护方案
..... 郑涛, 宋祥艳 (4690)
- 基于测量阻抗拟合特征的 MTDC 电网直流线路纵联保护
..... 杨冬锋, 王鹤, 刘晓军, 张国华, 刘闯 (4699)
- 考虑温度效应的永磁机构及其控制系统多物理域联合仿真与设计
..... 张立岩, 王永兴, 王瑞, 董思源, 邹积岩, 田宇 (4710)
- 一种具备自适应重合闸能力的混合式直流断路器
..... 陈晓龙, 周宁, 韩小文, 李永丽, 李斌, 李博通 (4718)
- ### · 面向新型电力系统的电力市场设计和运营关键技术 ·
- 面向电力市场环境的售电公司退出机制设计及退出险模型
..... 曹昉, 罗进奔, 丁国华, 李成仁 (4729)
- 基于“空间报价”的电-热现货市场联合出清模式设计
..... 孙欣, 张誉匀, 谢敬东, 孙波, 时维帅, 严佳嘉 (4740)
- 基于深度混合储备池计算模型的短期电力负荷预测
..... 张明辉, 周亚同, 孔晓然 (4751)
- 基于路径组合计及 ATC 的省间中长期交易优化出清和系统研发
..... 程海花, 杨辰星, 刘硕, 金一丁, 杨争林, 冯树海 (4762)
- 南方区域统一现货市场出清计算仿真分析
..... 赵文猛, 黄馨仪, 程韧俐, 彭超逸, 周保荣, 梁宇涛, 禚培正, 等 (4771)
- 基于信息间隙决策理论的售电公司参与多市场的优化决策
..... 李东东, 尤杨, 周波 (4778)
- 基于随机古诺博弈的需求响应聚合商与多主体风电商联合投标分布式优化策略
..... 何世远, 王鲁浩, 赵盛楠, 杨明, 程新功 (4789)

面向现货市场仿真的发电商有限理性智能体报价模型

.....柴雪, 苏子航, 李建男, 张娜, 吕泉 (4800)

考虑电动汽车集群可调度能力的多主体两阶段低碳优化运行策略

.....章攀钊, 谢丽蓉, 马瑞真, 路朋, 宋新甫, 杨建宾, 卞一帆 (4809)

含风电电力系统能量-调频-备用联合运行日前市场电价机制智能代理仿真分析

.....邢单奎, 谢俊, 段佳南, 金永天, 施雄华 (4822)

不完全信息下基于多代理深度确定策略梯度算法的发电商竞价策略

.....员江洋, 杨明, 刘宁宁, 张长行, 黄诗颖, 朱青 (4832)

考虑储能与新能源双边交易的日前市场报价策略

.....李宏仲, 魏静怡, 吕勇荡 (4843)

全国统一电力市场体系下电力零售侧市场框架设计

.....袁浩, 董晓亮, 刘强, 金骆松, 张文哲, 杨争林 (4852)

考虑光伏产消用户无功辅助服务的配电网优化调度

.....钟浩, 陈梓桐, 熊炜, 李世春, 李咸善, 方晨, 谭东红 (4863)

供电短缺下微网客户与移动储能端对端交易模式及调度策略

.....郭倬辰, 刘继春, 杨知方, 蒲天骄, 王晓辉, 刘俊勇 (4873)

考虑配网潮流和源荷不确定性的多微电网点对点合作调度策略

.....赵鹏杰, 吴俊勇, 张文浩, 何珊, 张和生 (4885)

· 面向双碳目标的综合能源系统关键技术 ·

碳中和目标下实现碳循环的电力系统供需规划

.....赵腾, 郭炜, 高艺 (4895)

基于 Hausdorff 距离的电-热-气综合能源系统分布鲁棒优化调度

.....陈光宇, 张子祥, 李庆, 张仰飞, 郝思鹏, 吕干云 (4906)

综合能源系统混合时间尺度多目标强化学习低碳经济调度

.....彭春华, 陈思畏, 徐佳璐, 孙惠娟, 张沛 (4914)

一种多能互补系统优化调度通用化建模方法

.....施烨, 金浩, 郝飞, 张高峰, 苏恒循, 马向追 (4924)

考虑多等级加固的气电联合配网系统韧性鲁棒提升策略研究

.....卿玉良, 刘天琪, 刘绚, 何川, 南璐 (4938)

一种面向深度调峰运行火电机组的一次调频能力建模新方法

.....张小科, 王子杰, 夏大伟, 王景钢, 胡怀忠 (4947)

需求侧共享储能的运营模式优化及其经济效益分析研究

.....李建林, 崔宜琳, 马速良, 武亦文, 姜治蓉, 辛迪熙 (4954)

计及淡水生产过程调控的电-水综合系统协同优化运行

.....姚一鸣, 李春燕, 邵常政, 唐瞻文, 汤信元 (4966)

· 电力系统 ·

适用于变压器保护的数字孪生建模技术研究

.....邓祥力, 朱慧, 刘世明, 张展 (4982)

谐振接地系统单相断线并电源侧接地故障电压特征分析

.....张弛, 王淳, 潘建兵, 张敏, 孙新宇, 吴龙杰 (4993)

一种规模化电池储能电站功率分配策略

.....赵焱, 史学伟, 王莉斌, 刘汉民, 杨俊丰, 黄金平, 张月宁 (5004)

一种基于 NPC 和 H 桥混合级联的 6kV 静止无功发生器

.....杜少通, 刘杰, 周娟, 朱军, 刘鹏辉 (5012)

· 高电压技术 ·

考虑非线性极化时不同土壤电阻率下直流接地极电流对油气管道的腐蚀影响分析

.....李雄, 陆家榆, 曹方圆, 白锋, 李成榕 (5021)

第 46 卷 (2022) 总目次 (1)

General Catalogue of Vol.46, (2022) (12)

· 广告索引 · (28)

《工程索引》(EI) 收录核心期刊

2015 和 2017 年度中国“百强报刊”

中国最具国际影响力学术期刊

中国百种杰出学术期刊

中国精品科技期刊

全国中文核心期刊

RCCSE 中国权威学术期刊

《科学文摘》(SA) 收录期刊

《文摘杂志》(AJ) 收录期刊

中国科学引文数据库 (CSCD)

中国期刊方阵双效期刊

电力行业优秀科技期刊

《电网技术》(月刊)

第 46 卷 第 12 期 (总第 469 期)

主 管: 国家电网有限公司

主 办: 国家电网有限公司

编 辑: 中国电科院期刊中心

《电网技术》编辑部

出 版: 《电网技术》杂志社有限公司

主 编: 郭剑波

副主编: 汤 涌、康重庆、孙华东

编辑部主任: 李兰欣 010-82812543

广告发行: 韩 迪 010-82812465

闫 颀 010-82812430

编 辑: 010-82812523/2672/2981/2982

网上投稿: <http://www.dwjs.com.cn>

电力系统内部电话: 91862+后四位

传 真: 010-82812980

地 址: 100192 北京清河小营东路 15 号

中国电力科学研究院有限公司内

印 刷: 北京科信印刷有限公司

北京市昌平区北清路马连店甲 6 号

总发行: 北京报刊发行局

国外发行: 中国国际图书贸易总公司

订 阅: 全国各地邮局

国内定价: 每期 80 元, 全年 960 元

邮发代号: 国内 82-604 国外 1474M

中国标准连续出版物号: ISSN 1000-3673

CN 11-2410/TM

广告发布登记号: 京海市监广登字 20170131 号

POWER SYSTEM TECHNOLOGY

2022, Vol. 46 No. 12 (Ser. 469)

Contents

• New Power System Fault Characteristics and Relay Protection Technology •

Quasi-Newton Iterative Calculation Method for Short Circuit Current of High Proportion Distributed Generation Connected to Power Grid	WU Chengguo, XIAO Shiwu (4581)
Distance Protection Strategies for Lines Containing Phase Shifting Transformers	CHEN Zhensheng, LI Xiaohua, LUO Yijie, ZHENG Yixin, TU Qingrui, LIU Wei (4591)
Busbar CT Disconnection Identification and Protection Blocking Strategy Using Differential Current and Branch Sequence Current Characteristics	YU Su, ZHOU Zexin, LIU Huanzhang, WANG Xingguo, LÜ Pengfei, LI Yong (4598)
High Frequency Component-based Pilot Protection for Photovoltaic Station Collection Line	CHAO Chenxu, ZHENG Xiaodong, GUI Qiang, YE Hai, LIU Zhongping, LIU Hulin, GAO Piao, TAI Nengling (4607)
Fast Protection Scheme for AC Transmission Lines Based on Ratio of High and Low Frequency Energy of Transient Traveling Waves	ZHENG Tao, SONG Xiangyan (4616)
Identification of Transmission Line Unsymmetrical Fault During Power Swing Based on m - $U\cos\phi$ Plane	WANG Xingguo, JIANG Hongli, CHENG Qi, YANG Wankai (4625)
Overall Protection Scheme for Flexible DC Distribution Lines Based on Synergy of Current Limiting Control and Protection	YANG Le, QIN Wenping, CHEN Xiaoqian, ZUO Pengfei, CAI Yitian (4634)
Grounding Electrode Double-line Fault Location Based on Characters of Amplitude and Phase Angle of High-frequency Measured Impedance	LI Bin, ZHANG Xinhua, HE Jiawei, SUN Qiang, LI Ye, ZHOU Bohao, XIE Zhongrun (4645)
Fault Current Analysis of Photovoltaic Grid-connected System Considering Dynamic Response Characteristics of PLL	ZHENG Tao, ZOU Pengying, WANG Ziming (4656)
Adaptive Low Voltage Ride-through Control Strategy for High Proportion of Wind Access	ZHENG Tao, ZOU Pengying, YAN Jingxian, WANG Ziming (4666)
Line Pilot Protection of Flexible DC Grid Based on Voltage Traveling-wave Refraction Coefficient	DAI Zhihui, QIN Haoyu, QIU Hongyi, WANG Xingguo, GUO Yarong, QIU Xiaoxuan (4676)
Traveling Wave Protection Scheme of Voltage Polarity Comparison Formula for Multi-terminal DC Power Network	ZHENG Tao, SONG Xiangyan (4690)
Pilot Protection for MTDC Grid Based on Fitting Characteristics of Measured Impedance	YANG Dongfeng, WANG He, LIU Xiaojun, ZHANG Guohua, LIU Chuang (4699)
Multi-physics Co-simulation and Design of Permanent Magnet Actuator and Control System Considering Temperature Effect	ZHANG Liyan, WANG Yongxing, WANG Rui, DONG Enyuan, ZOU Jiyan, TIAN Yu (4710)
A Hybrid DC Circuit Breaker With Adaptive Reclosing Ability	CHEN Xiaolong, ZHOU Ning, HAN Xiaowen, LI Yongli, LI Bin, LI Botong (4718)

• The Key Technologies of Electricity Markets Design and Operation for New Power System •

Exit Mechanism Design and Exit Insurance Model of Electricity Retailers Facing Electricity Market	CAO Fang, LUO Jinben, DING Guohua, LI Chengren (4729)
Design of Holistic Clearing Modes in Power-heat Spot Market Based on ‘Space Quotes’	SUN Xin, ZHANG Yuyun, XIE Jingdong, SUN Bo, SHI Weishuai, YAN Jiajia (4740)
Short-term Electrical Load Prediction Based on Deep Hybrid Reservoir Calculation Model	ZHANG Minghui, ZHOU Yatong, KONG Xiaoran (4751)
Optimization Clearing and System Development of Inter-provincial Medium and Long Term Trade Considering ATC Base on Path Combination	CHENG Haihua, YANG Chenxing, LIU Shuo, JIN Yiding, YANG Zhenglin, FENG Shuhai (4762)
Simulation Analysis of Unified Spot Market Clearing in Southern Region	ZHAO Wenmeng, HUANG Xinyi, CHENG Renli, PENG Chaoyi, ZHOU Baorong, LIANG Yutao, XUAN Peizheng, et al (4771)
IGDT-based Decision-making Optimization of Electricity Retailers Under Multi-market	LI Dongdong, YOU Yang, ZHOU Bo (4778)
Stochastic Cournot Game Based Distributed Optimization Strategy for Joint Bidding of Demand Response Aggregator and Multi-stakeholder Wind Power Producers	HE Shiyuan, WANG Luhao, ZHAO Shengnan, YANG Ming, CHENG Xingong (4789)
Bounded Rational Agent Bidding Model of Generators for Spot Market Simulation	CHAI Xue, SU Zihang, LI Jiannan, ZHANG Na, LÜ Quan (4800)
Multi-player Two-stage Low Carbon Optimal Operation Strategy Considering Electric Vehicle Cluster Schedulability	ZHANG Panzhao, XIE Lirong, MA Ruizhen, LU Peng, SONG Xinfu, YANG Jianbin, BIAN Yifan (4809)
Agent-based Simulation of Day-ahead Market Pricing Mechanism for Energy-frequency regulation-reserve Combined Operation for Power Systems With Wind Power	XING Shanxi, XIE Jun, DUAN Jianan, JIN Yongtian, SHI Xionghua (4822)

Bidding Strategy of Generation Companies Based on Multi-agent Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm Under Incomplete Information	YUN Jiangyang, YANG Ming, LIU Ningning, ZHANG Changhang, HUANG Shiyang, ZHU Qing (4832)
Day-ahead Market Quotation Strategy Considering Bilateral Transaction Between Energy Storage and New Energy	LI Hongzhong, WEI Jingyi, LÜ Yongdang (4843)
Electricity Retail Side Market Framework Design in National Unified Electricity Market System	YUAN Hao, DONG Xiaoliang, LIU Qiang, JIN Luosong, ZHANG Wenzhe, YANG Zhenglin (4852)
Optimal Dispatch of Distribution Network Considering Reactive Power Auxiliary Services of Photovoltaic Prosumers	ZHONG Hao, CHEN Zitong, XIONG Wei, LI Shichun, LI Xianshan, FANG Chen, TAN Donghong (4863)
Peer-to-peer Transaction Mode Between Mobile Energy Storage and Microgrid Customers and Mobile Energy Storage Scheduling Strategy Under Power Shortage	GUO Zhuochen, LIU Jichun, YANG Zhifang, PU Tianjiao, WANG Xiaohui, LIU Junyong (4873)
Cooperative Peer to Peer Scheduling of Multi-microgrids Considering Distribution Network Power Flow and Source-load Uncertainty	ZHAO Pengjie, WU Junyong, ZHANG Wenhao, HE Shan, ZHANG Hesheng (4885)

• Key Technologies of Integrated Energy Systems Towards Carbon Peaking and Carbon Neutrality Goals •

Power System Demand and Supply Planning for Achieving Carbon Neutrality Considering Carbon Cycle Within Power and Gas Systems	ZHAO Teng, WU Wei, GAO Yi (4895)
Distributed Robust Optimal Scheduling of Electric Thermal Gas Integrated Energy System Based on Hausdorff Distance	CHEN Guangyu, ZHANG Zixiang, LI Qing, ZHANG Yangfei, HAO Sipeng, LÜ Ganyun (4906)
Low Carbon Economic Scheduling for Integrated Energy Systems With Mixed Timescale & Multi-objective Reinforcement Learning	PENG Chunhua, CHEN Siwei, XU Jialu, SUN Huijuan, ZHANG Pei (4914)
General Linear Modeling Method for Optimal Dispatch of Integrated Energy System	SHI Ye, JIN Hao, HAO Fei, ZHANG Gaofeng, SU Hengxun, MA Xiangzhui (4924)
Robust Strategy of Improving Resilience of Integrated Gas-electricity Distribution System Considering Multi-level Reinforcement	QING Yuliang, LIU Tianqi, LIU Xuan, HE Chuan, NAN Lu (4938)
New Modeling for Primary Frequency Regulation Capability of Thermal Power Units Under Deep Peak Regulation	ZHANG Xiaoke, WANG Zijie, XIA Dawei, WANG Jinggang, HU Huaizhong (4947)
Operation Mode Optimization and Economic Benefit Analysis of Demand-side Shared Energy Storage	LI Jianlin, CUI Yilin, MA Suliang, WU Yiwen, JIANG Yerong, XIN Dixi (4954)
Cooperative Optimal Operation of Integrated Electrical-water System Considering Regulation of Fresh Water Production Process	YAO Yiming, LI Chunyan, SHAO Changzheng, TANG Zhanwen, TANG Jiyuan (4966)

• Power System •

Research on Digital Twin Modeling Technology Suitable for Transformer Protection	DENG Xiangli, ZHU Hui, LIU Shiming, ZHANG Zhan (4982)
Voltage Characteristics Analysis of Single-phase Disconnection With Power Resource Side Grounding Fault in Resonant Earthed System	ZHANG Chi, WANG Chun, PAN Jianbing, ZHANG Min, SUN Xinyu, WU Longjie (4993)
Power Allocation Strategy of Large-scaled Battery Energy Storage Power Station	ZHAO Yi, SHI Xuwei, WANG Libin, LIU Hanmin, YANG Junfeng, HUANG Jinping, ZHANG Yuening (5004)
A 6kV Hybrid Cascade Static Var Generator Using NPC and H-bridge	DU Shaotong, LIU Jie, ZHOU Juan, ZHU Jun, LIU Penghui (5012)

• High Voltages •

Corrosion Effects of HVDC Grounding Currents on Oil and Gas Pipelines Under Different Soil Resistivity Conditions Considering Nonlinear Polarization	LI Xiong, LU Jiayu, CAO Fangyuan, BAI Feng, LI Chengrong (5021)
---	---

Sponsor: State Grid Corporation of China

In Cooperation with: China Electric Power Research Institute (CEPRI)

Chairman of Editorial Committee: Zhou Xiaoxin

Editor-in-Chief: Guo Jianbo

Editor and Publisher: Power System Technology Press

Director of Editorial Board: Li Lanxin

Publication Number: ISSN 1000-3673

CODEN: DIJIES **Devey#:** 621.31

Address: China Electric Power Research Institute, Qinghe, Beijing 100192, China

Tel/Fax: 86-10-82812980

E-mail: pst@epri.sgcc.com.cn <http://www.dwjs.com.cn>

Agent of Subscriptions Abroad: China International Book Trading Corporation (GUOJISHUDIAN) P.O.Box 399, Beijing, China